

Научная статья

УДК 553.495:550.84(470.6)

doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_107-116

**Перспективы ураноносности
юга европейской части России
(по результатам геохимических исследований)****Л. А. Крinochkin¹, О. К. Крinochkina²,
В. А. Килипко¹, В. И. Блоков¹✉**¹Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии
редких элементов, Москва, Россия, blok_off@mail.ru ✉²Национальный исследовательский Московский государственный
строительный университет, Москва, Россия**Ключевые слова:** уран, минерально-сырьевая база, аномальная геохимическая площадь**Для цитирования:** Перспективы ураноносности юга европейской части России (по результатам геохимических исследований) / Л. А. Крinochkin [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2025. Т. 32, № 2. С. 107–116. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_107-116

Original article

UDC 553.495:550.84(470.6)

doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_107-116

**Prospects for uranium potential
in South European Russia
(based on geochemical studies)****L. A. Krinochkin¹, O. K. Krinochkina²,
V. A. Kilipko¹, V. I. Blokov¹✉**¹Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry
of Rare Elements, Moscow, Russia, blok_off@mail.ru ✉²Moscow State University of Civil Engineering
(National Research University), Moscow, Russia**Keywords:** uranium, mineral resources base, anomalous geochemical area**For citation:** Prospects for uranium potential in South European Russia (based on geochemical studies) / L. A. Krinochkin [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2025; 32 (2): 107–116. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2025_102_107-116© Л. А. Крinochkin, О. К. Крinochkina,
В. А. Килипко, В. И. Блоков, 2025**Abstract.** The paper addresses geochemical characteristics of South European Russia, which assess prospects for uranium potential in order to expand the uranium mineral resources base in the region. The research corresponded to providing a geochemical basis for the L-38 sheet of the geological map (scale of 1 : 100,000). Soils and sediments were tested over a 10 × 10 km network. In the samples, the inductively coupled plasma mass spectrometric method determined contents of mobile forms of uranium and other elements (60 in total). Identification of nine areas promising for discovery of commercial uranium deposits, including the paleodoline type, represents a practical value of the research. The research findings are important, since they forecast expansion of the uranium raw materials base in a well-developed and accessible region with known deposits, but with limited reserves of strategic mineral raw materials.

ВВЕДЕНИЕ

Уран, как один из наиболее важных и дефицитных полезных ископаемых, включен в перечень основных видов стратегического минерального сырья, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 августа 2022 г. (№ 2473-р).

Около 95 % общих запасов урана в России сконцентрировано в Сибирском и Дальневосточном федеральных округах [1]. В связи с этим наращивание сырьевой базы урана в хорошо освоенных районах чрезвычайно актуально. По мнению авторов статьи, одним из таких регионов является юг европейской части территории Российской Федерации, где месторождения урана уже известны, но запасы их ограничены.

Настоящая статья подготовлена по материалам создания геохимической основы Госгеолкарты-1000, полученным в ходе региональных геохимических работ на листе L-38, расположенном на границе Кавказского и Южного федеральных округов. Авторы основной своей задачей считают обратить внимание на возможность обнаружения в южной части Российской Федерации новых месторождений урана, в том числе и высокопродуктивного палеодолинного типа.

Краткая характеристика района исследования

По данным [2], основную часть изученной территории представляет Мизийско-Скифско-Туранская платформа, на северо-востоке — незначительный фрагмент Восточно-Европейской платформы, а на юго-западе — Северо-Кавказская складчатая область.

Практически повсеместно распространены отложения ураноносного комплекса, так называемых нижнемиоценовых «рыбных» горизонтов. Он вмещает большое число известных, но малых месторождений осадочного органогенно-фосфатного типа стратиформной уран-фосфорно-редкоземельной рудной формации (рисунок).

Миоценовые отложения караган-конского и сарматского комплексов распространены в основном в западной части территории. Караган-конский комплекс содержит промышленные концентрации урана палеодолинного типа (Балковское рудопроявление и ряд пунктов минерализации).

В подземных водах сарматского и апшерон-акчагыльского водоносных комплексов выявлены площадные аномалии с концентрацией урана более 1×10^{-5} г/л.

Важной предпосылкой для прогнозирования гидрогенных урановых месторождений *палеодолинного типа* являются довольно многочисленные палеоврезы. На рисунке показаны оси наиболее протяженных из них, к которым приурочены потенциально ураноносные аномальные геохимические площади (далее — АГХП). В связи с зонами пластового окисления в отложениях сарматского и апшерон-акчагыльского формационных комплексов возможно обнаружение промышленного гидрогенного уранового оруденения *типа зон пластового окисления*.

В пределах складчато-глыбового сооружения Большого Кавказа известны Быкогорское и Бештаугорское месторождения урановой гидротермально-метасоматической рудной формации, связанные с интрузивными образованиями кавминводского магматического комплекса [3].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

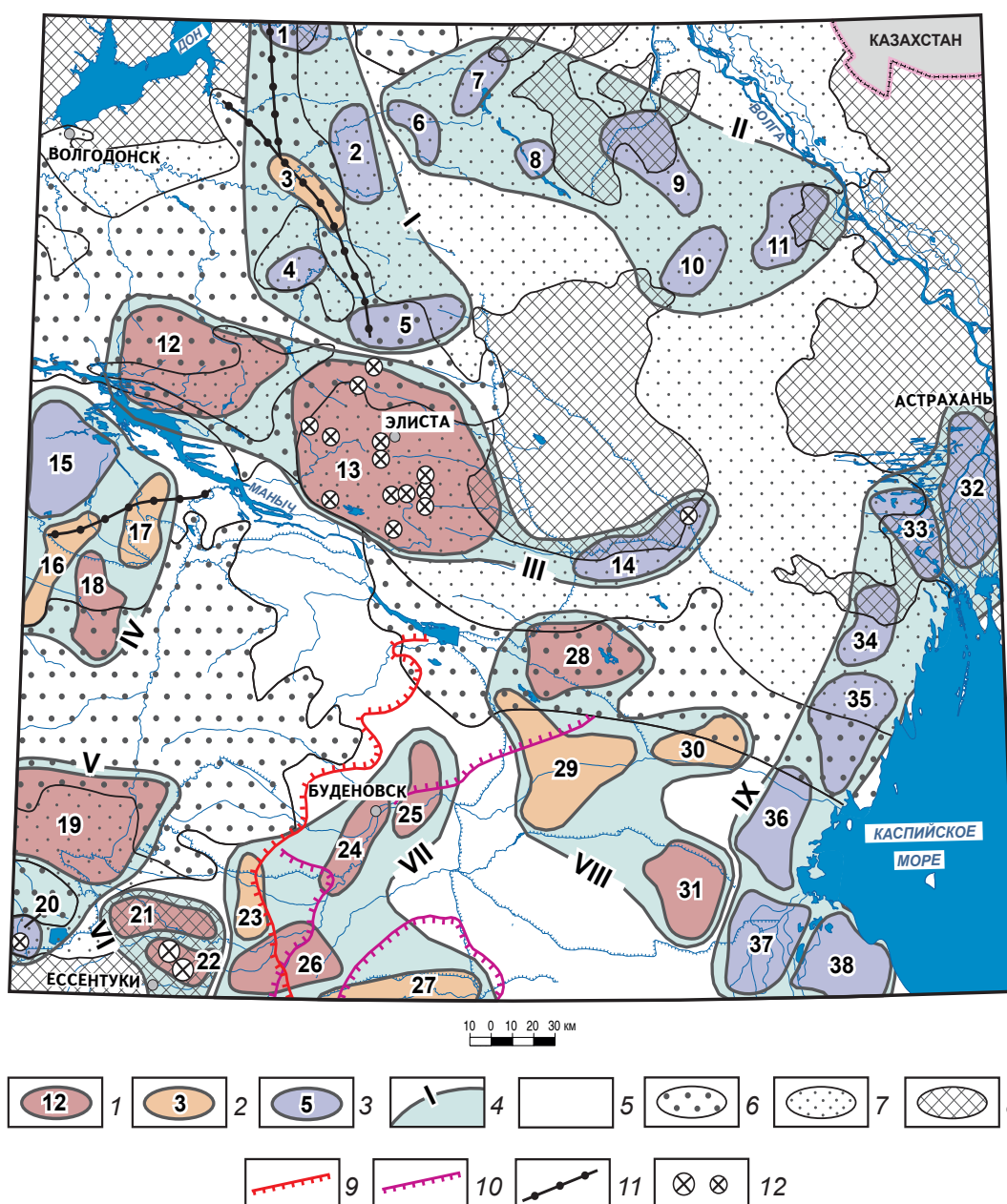
Оценка ураноносности территории базируется на результатах регионального геохимического изучения распределения подвижных (наложенных) форм урана и его спутников в почвах и донных отложениях. Эффективность их использования для выявления месторождений полезных ископаемых, залегающих в платформенном чехле и даже в фундаменте, доказана геохимическими исследованиями Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов [4]. Скрыто- и перекрыто-залегающие месторождения на поверхности фиксируются наложенными геохимическими ореолами в депонирующих средах.

На площади 193,7 тыс. км² было отобрано 2475 почвенных проб и 702 пробы донных отложений. В соответствии с [5] и требованиями к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования, пробы почв отбирались из закопшек глубиной до 60 см и более, что обеспечивало отбор проб из горизонтов В и В-С. Для анализа из материала проб почв и донных осадков отбирались навески фракции размером 1 мм и менее.

Определение подвижных форм элементов проводилось в вытяжках, извлеченных из материала навесок раствором 1-молярной азотной кислоты, на основе методики НСАМ № 500-МС «Определение элементного состава азотнокислых и ацетатно-аммонийных вытяжек из почв методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой» (ИПТМ РАН, 2017 г.). В них методом ICP-MS определялось содержание 60 элементов, в том числе урана и его спутников — Th, Mo, Pb, Se, Sc, Re, Tl, TR и др., в аналитическом центре Института минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов.

Объекты оценки — аномальные геохимические площади районов и узлов — выделялись как площади сплошного развития комплексных аномалий урана и его спутников, которые оконтуривались по содержаниям, превышающим местный геохимический фон в 2 раза и более ($K_c \geq 2$ ф). Использование местного геохимического фона для выделения и оценки рудогенных геохимических аномалий позволяет минимизировать помехи от природно-повышенных концентраций элементов нерудной природы [6].

Интерпретация АГХП включала определение их рудно-формационной принадлежности и оценку перспективности. В основе интерпретации природы геохимических аномалий лежит формационный принцип, базирующийся на сходстве состава АГХП и источника вещества [7]. Устойчивая связь между составом аномальных геохимических полей и их металлогенией является следствием того, что



Прогноз ураноносности юга европейской части России

1–3 — перспективность аномальных геохимических площадей и их номера: 1 — перспективная, 2 — неясная, 3 — низкая; 4 — геохимические зоны и их номера; 5–7 — области распространения формационных комплексов, продуктивных на гидрогенное урановое оруденение: 5 — апшерон-акчагыльский комплекс с неустойчивым литологическим составом и затрудненной циркуляцией подземных вод, 6 — сарматский и караган-конкский комплексы с литологическим составом, благоприятным для циркуляции подземных вод, и с первичной концентрацией урана в отложениях среднего сармата и промышленных концентраций урана в яшульской серии и большеянкульской свите, 7 — ураноносные олигоцен-нижнемиоценовые «рыбные» горизонты; 8 — комплексы, продуктивные на гидрогенное урановое оруденение, отсутствуют; 9, 10 — выклинивание зон пластового окисления в формационных комплексах: 9 — сарматском, 10 — апшерон-акчагыльском (бергштрихи в сторону окислительной обстановки); 11 — оси палеоврезов; 12 — месторождения урана средние и малые

Prediction of uranium potential in South European Russia

1–3 — prospects of anomalous geochemical areas and their numbers: 1 — promising, 2 — unclear, 3 — low; 4 — geochemical zones and their numbers; 5–7 — distribution areas of formational complexes fertile for hydrogenic uranium mineralization: 5 — Absheron-Akchagyl complex with unstable lithological composition and constrained groundwater circulation, 6 — Sarmatian and Karagan-Konka complexes with a lithological composition favorable for groundwater circulation and with a primary concentration of uranium in the Middle Sarmatian sediments and industrial concentrations of uranium in the Yashkul series and Bolshoy Yankul Formation, 7 — Oligocene — Lower Miocene uranium-bearing “fish” horizons; 8 — no complexes fertile for hydrogenic uranium mineralization; 9, 10 — wedging out zones of reservoir oxidation in formational complexes: 9 — Sarmatian, 10 — Absheron-Akchagyl (bergstrichs towards the oxidative environment); 11 — axes of paleochannels; 12 — medium and small uranium deposits

рудобразующие элементы и их спутники образуют наиболее обширные поля и характеризуются более интенсивным накоплением и высокой неоднородностью геохимических полей в сравнении с другими элементами. Как правило, они располагаются в головных частях геохимических ассоциаций, характеризующих АГХП.

В условиях скрыто-перекрытого залегания прогнозируемого оруденения, не позволяющих достоверно оценить его ресурсный потенциал по геохимическим данным, оценка перспективности аномальных геохимических площадей проводится путем сопоставления их геохимических характеристик с эталонными [8]. Критерии, учитывающие геохимические особенности (состав, комплексность, интенсивность и степень неоднородности распределения содержаний рудообразующих элементов и их спутников) АГХП, их размеры, геологическую позицию, наличие месторождений и проявлений урана определенных рудных формаций и др., позволяют успешно решать вопросы перспективности АГХП.

Геохимические ассоциации представляют собой ряды ранжированных по интенсивности накопления аномалеобразующих элементов, которая определялась значениями коэффициентов накопления (K_c), рассчитанными нормированием средних содержаний элементов на их местный геохимический фон (таблица). Использовались три уровня интенсивности накопления элементов: высокий ($K_c > 4,0$), умеренный ($K_c = 4,0-2,0$) и низкий ($K_c < 2,0$).

Степень неоднородности распределения урана и его спутников оценивалась по значениям коэффициента вариации (V) их содержаний: высокая ($V > 75\%$), средняя ($V = 75-50\%$) и низкая ($V < 50\%$). Известно, что высокая неоднородность распределения содержаний присуща геохимическим ореолам рудных залежей [9].

Геохимические ассоциации (ранжированные ряды) перспективных объектов приведены в таблице. В них подстрочный индекс отвечает значению коэффициента накопления, надстрочный индекс — коэффициенту вариации содержаний элементов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что аномальные геохимические поля урана и его спутников в почвах фиксируют все известные урановорудные районы и узлы и широко распространены за их пределами. В донных отложениях их аномалии локализуются на тех же площадях, что и в почвах, но они, как правило, менее контрастны.

На территории листа выделено 9 геохимических зон (далее — ГХЗ), включающих 38 урановорудных и потенциальных урановорудных АГХП в ранге рудных районов и узлов разной рудно-формационной принадлежности (рисунок).

На осадочный органогенно-фосфатный тип стратиформной уран-фосфорно-редкоземельной в костных остатках терригенной рудной формации в отложениях олигоцена — нижнего миоцена специализированы Ухтинская (II), Элистинская (III) и Черкесская (V) геохимические зоны.

Элистинская ГХЗ (III) наиболее продуктивна. В ее пределах расположена *Элистинская АГХП* (13), соответствующая одноименному урановорудному району (рисунок), в котором сосредоточена основная часть известных месторождений, проявлений и пунктов минерализации описываемой ниже рудной формации.

Ураноносные отложения района состоят из глин (60–70 %), сульфидов железа (20–25 %) и костного детрита рыб (15–20 %). В фосфатном веществе содержится уран до 0,2 %, с сульфидной частью руд в основном связаны редкоземельные элементы цериевой и иттриевой групп (0,5–1,0 %), Sc (десятки, иногда сотни г/т), Ni, Co, Mo, Pb, Zn, As ($n \times 10^{-1}$ — $n \times 10^{-2}$ %) и Re (до $n \times 10^{-4}$ %). Продуктивный горизонт на хорошо изученном Яшульском месторождении, расположенном на северном фланге района, залегает на глубинах 340–406 м. Прогнозные ресурсы урана Элистинского района по категории P_3 оцениваются в 100 000 т [2].

Аномальное геохимическое поле Элистинской АГХП имеет значительную площадь (6471 км²) и достаточно надежно геохимически изучено в почвах (73 пробы) и донных отложениях (43 пробы).

Ореолы урана преимущественно локализуются на периферии района, что объясняется залеганием руд в депрессионной структуре, на флангах которой продуктивный пласт приближается к поверхности. Аномальное геохимическое поле в почвах и донных отложениях имеет комплексный состав. Общими для них являются элементы-индикаторы уранового оруденения — U, Mo, Th, Ag, Se, Bi, Fe, Re, Sc (таблица).

Концентрации химических элементов в почвах и донных осадках района относительно невысокие, что может объясняться перекрытым залеганием рудных залежей. Однако распределение урана и части его спутников (Mo, Th, Ag, Zr, Se) в почвах характеризуется высокими значениями коэффициента вариации.

В донных отложениях, по сравнению с почвами, накопление урана и его спутников несколько ниже, а высокой неоднородностью распределения отличаются только Mo, Sc, Ti.

Достаточно хорошая геолого-геохимическая изученность Элистинской АГХП позволяет использовать ее характеристики в качестве эталонных для выявленных АГХП, специализированных на уран-фосфорно-редкоземельную рудную формацию. К таким АГХП, прежде всего, относятся Пролетарская и Цубукская, расположенные в одной геохимической зоне с Элистинской АГХП.

Из них перспективной считается *Пролетарская АГХП* (12). Она характеризуется достаточно крупными размерами (таблица) и геологической позицией, аналогичной Элистинской АГХП (рисунок), но более высокими накоплением и неоднородностью распределения урана и его спутников в почвах и донных отложениях по сравнению с последней.

В пределах *Цубукской АГХП* (14) известно одноименное малое месторождение уран-фосфорно-редкоземельной рудной формации. Геохимической особенностью ассоциации данной АГХП является широкое представительство в ней спутников урана,

Характеристика перспективных и эталонных аномальных геохимических площадей

Characteristics of promising and standard anomalous geochemical areas

Номер, название районов (ГХР) и узлов (ГХУ) (площадь, км ²)	Изученный компонент ПГС (кол-во проб)	Геохимическая ассоциация накопления (подстрочный индекс — коэффициент накопления, надстрочный индекс — коэффициент вариации)
Уран-фосфорно-редкоземельная рудная формация		
Элистинская ГХЗ (III)		
12. Пролетарский ГХР (2841)	Почвы (20)	Mo ²⁰¹ _{7,2} , Th ¹²² _{4,6} , U ⁹³ _{2,4} , Cs ⁶¹ _{2,1} , Bi ⁴⁵ _{1,7} , As ⁶⁵ _{1,7} , Ti ⁵³ _{1,7} , Sr ⁵⁵ _{1,6} , Rb ⁶³ _{1,6} , Zr ⁵⁶ _{1,5}
	Донные отложения (14)	U ⁹⁹ _{1,8} , Te ⁵⁸ _{1,8} , Re ⁸⁶ _{1,8} , Sr ¹¹⁷ _{1,7} , Mo ⁸¹ _{1,5} , Fe ⁷⁵ _{1,5}
13. Элистинский ГХР (6471)	Почвы (73)	Mo ¹³¹ _{3,9} , Th ¹¹³ _{3,8} , Ag ⁹⁵ _{2,4} , Bi ⁵⁶ _{2,1} , U ⁸³ _{1,7} , Zr ⁹¹ _{1,7} , Se ⁷⁸ _{1,6} , Sb ⁶⁸ _{1,5} , W ¹⁴⁶ _{1,5}
	Донные отложения (43)	Mn ²⁷² _{2,2} , Se ⁶⁵ _{2,1} , Ag ⁶⁴ _{2,1} , Mo ¹³³ _{2,0} , Fe ⁶⁷ _{1,8} , Re ⁵¹ _{1,8} , Bi ⁸⁷ _{1,7} , Sr ⁸² _{1,7} , Sn ⁷⁷ _{1,6} , Sc ⁷⁹ _{1,5} , U ⁶⁴ _{1,5} , Ti ¹³⁴ _{1,5} , Th ⁶⁷ _{1,5} , Te ⁵⁵ _{1,5}
Черкесская ГХЗ (V)		
19. Большеянкульский ГХР (2913)	Почвы (95)	Th ¹²⁵ _{7,9} , Au ²³⁵ _{7,4} , Bi ⁸⁸ _{3,4} , U ⁶⁵ _{3,0} , Mo ¹⁷⁷ _{2,6} , Re ⁵⁹ _{2,4} , Fe ⁵⁷ _{2,1} , Sc ⁶⁵ _{2,0} , Se ⁵⁴ _{1,8} , Te ⁶⁶ _{1,7} , Cu ⁵⁰ _{1,5} , Ge ³⁷ _{1,5} , Zr ⁶⁸ _{1,5} , Co ⁴² _{1,5} , Zn ⁶³ _{1,5} , Ce ³¹ _{1,5}
	Донные отложения (38)	Th ⁷¹ _{1,9} , Sc ⁴⁶ _{1,8} , Lu ³⁴ _{1,6} , Yb ³⁴ _{1,6} , Ce ³⁸ _{1,6} , Tm ³³ _{1,6} , Er ³³ _{1,6} , Co ⁶⁹ _{1,6} , Nd ³³ _{1,6} , Re ⁶⁹ _{1,6} , Ho ³³ _{1,6} , Pr ³² _{1,5} , Sm ³² _{1,5} , Eu ³¹ _{1,5} , Y ³⁰ _{1,5} , Dy ³² _{1,5} , Te ⁴⁶ _{1,5} , La ³² _{1,5} , Be ³¹ _{1,5} , Gd ³¹ _{1,5} , U ⁴⁰ _{1,4}
20. Черкесский ГХУ (236)	Почвы (4)	W ⁸⁸ _{4,7} , Mo ⁷⁴ _{4,5} , U ¹²⁵ _{4,3} , Ta ¹¹¹ _{4,1} , Th ⁹⁹ _{2,6} , Zn ⁵¹ _{2,5} , Cu ⁴⁴ _{2,4} , Ti ⁶⁷ _{2,1} , Te ⁵⁰ ₂ , P ¹¹⁵ _{1,9} , Bi ⁵⁷ _{1,7} , Cs ²⁸ _{1,7} , Sc ⁵⁷ _{1,6} , Sr ⁴⁶ _{1,5}
Урановая гидротермально-метасоматическая рудная формация		
Пятигорская ГХЗ (VI)		
21. Северо-Минводский ГХР (2913)	Почвы (40)	Mo ¹³¹ _{4,8} , U ⁸⁵ _{3,7} , As ²¹⁷ _{3,0} , Re ⁷⁹ _{2,9} , Cd ¹⁷⁷ _{2,6} , Th ⁹³ _{2,3} , Cu ⁹² _{2,0} , Bi ⁹¹ _{1,9} , Sb ⁷⁶ _{1,8}
	Донные отложения (7)	Re ¹⁵⁹ _{24,6} , Mo ⁹⁴ _{7,1} , Sc ⁹⁹ _{5,4} , Ti ¹²⁵ _{4,0} , Cd ⁷⁷ _{2,6} , U ⁶⁴ _{2,5} , Zn ¹¹⁹ _{2,4} , Zr ⁷¹ _{2,4} , Bi ⁸⁴ _{2,3} , Cu ⁵² _{2,2} , V ⁶⁵ _{2,2} , Ti ¹¹⁸ _{2,1} , Fe ⁵⁹ _{2,0} , Sb ⁴⁹ _{2,0} , Lu ⁵² _{1,9} , Ag ⁷² _{1,9} , Yb ⁴⁹ _{1,9} , Ho ⁴⁸ _{1,9} , Tm ⁵⁰ _{1,8} , Dy ⁴⁸ _{1,8} , Be ²¹ _{1,8} , Er ⁴⁵ _{1,8} , Tb ⁴⁶ _{1,8} , W ⁴⁶ _{1,8} , Sm ⁴⁵ _{1,8} , Pb ⁵⁷ _{1,8} , Gd ⁴² _{1,8} , Eu ⁴² _{1,8} , Co ⁴⁴ _{1,7} , Ga ³⁵ _{1,7} , Se ⁵⁷ _{1,7} , Nd ⁴¹ _{1,7} , Y ³⁵ _{1,6} , Pr ⁴⁰ _{1,6} , Cr ⁴³ _{1,6} , Ce ³⁹ _{1,5} , As ⁶⁷ _{1,5} , Ni ³³ _{1,5}
22. Пятигорский ГХУ (236)	Почвы (19)	U ⁸³ _{3,2} , Mo ⁷⁸ _{2,9} , Au ⁵⁶ _{2,1} , (Sr ⁸⁰ , Cu ¹²⁷ , Re ⁶⁴) _{2,0} , Pb ¹¹³ _{1,9} , (Bi ⁷⁰ , Cd ¹⁰⁶ , Sb ⁶³ , Sn ¹⁹⁰) _{1,8} , Te ⁶⁹ _{1,7} , (Ti ⁷⁹ , Th ⁵⁸) _{1,6} , (Be ¹⁵² , Cs ¹²¹ , Zn ⁸²) _{1,5}
Урановая терригенная палеодолинная рудная формация		
Яшалтинская ГХЗ (IV)		
18. Кугультинский ГХУ (825)	Почвы (15)	Au ⁸⁸ _{3,9} , Mo ¹²⁵ _{3,8} , W ⁸⁹ _{1,9} , As ¹¹¹ _{1,8} , U ¹¹¹ _{1,7} , Bi ¹⁰⁹ _{1,6} , Sr ⁸² _{1,6} , Th ⁹⁵ _{1,6}
	Донные отложения (11)	Re ¹⁴⁵ _{2,5} , Au ⁶⁷ _{2,5} , Mn ¹⁰⁷ _{2,3} , As ⁶⁸ _{2,3} , Mo ¹²⁰ _{2,2} , W ¹¹⁰ _{2,2} , Se ¹¹⁶ _{2,1} , Sr ⁵³ _{2,0} , Te ⁷⁰ _{1,9} , U ⁵⁰ _{1,5} , Zn ¹²⁹ _{1,5} , Ti ⁴⁷ _{1,5}
Ачинеро-Нефтекумская ГХЗ (VIII)		
28. Светловский ГХР (1443)	Почвы (12)	Mo ¹⁵⁰ _{12,2} , Ag ⁷⁹ _{5,4} , Zr ⁷⁰ _{3,8} , Se ⁷³ _{3,0} , As ⁸⁶ _{2,8} , Sr ¹⁰⁰ _{2,8} , U ¹¹⁶ _{2,7} , Ti ⁸² _{2,5} , Sb ⁵⁶ _{2,4} , Th ⁷⁶ _{2,2} , Bi ⁵⁷ _{2,2} , Cr ⁵⁵ _{2,1} , Sc ⁶³ _{1,9} , Fe ²⁸ _{1,9} , Ni ⁴⁰ _{1,9} , Cu ³³ _{1,8} , W ⁶⁹ _{1,8} , P ⁵⁹ _{1,8} , Pb ³⁰ _{1,7} , V ⁴² _{1,6} , Mn ⁴² _{1,6} , Co ³⁸ _{1,6} , Yb ²⁶ _{1,5} , Lu ²⁶ _{1,5} , Be ³⁷ _{1,5} , Tm ²³ _{1,5} , Ho ²⁴ _{1,5}

Номер, название районов (ГХР) и узлов (ГХУ) (площадь, км ²)	Изученный компонент ПГС (кол-во проб)	Геохимическая ассоциация накопления (подстрочный индекс — коэффициент накопления, надстрочный индекс — коэффициент вариации)
28. Светловский ГХР (1443)	Донные отложения (5)	Re ¹¹ _{4,2} , Sr ⁵⁰ _{2,6} , As ⁹⁰ _{2,2} , Sc ⁷⁷ _{2,2} , Bi ⁶³ _{1,9} , Mn ¹⁰⁵ _{1,7} , V ⁷⁵ _{1,7} , Ag ⁶⁰ _{1,7} , Cr ⁷⁷ _{1,7} , Zr ⁶⁴ _{1,6} , Mo ⁵⁸ _{1,5} , U ⁶⁸ _{1,5}
31. Кызылкольский ГХР (1214)	Почвы (14)	Mo ¹⁴⁷ _{6,4} , U ¹¹³ _{4,2} , Sr ⁶⁹ _{3,2} , Zr ⁶⁷ _{3,1} , Ag ⁵² _{2,9} , Th ⁷⁹ _{2,9} , Bi ⁶⁵ _{2,7} , Cr ⁴⁴ _{2,3} , As ⁴⁷ _{2,3} , V ⁶¹ _{2,0} , Ti ⁶² _{1,8} , Fe ⁴¹ _{1,8} , Sb ⁵² _{1,8} , Cu ⁴¹ _{1,8} , Pt ³⁷ _{1,7} , Te ⁶¹ _{1,6} , Ni ³⁷ _{1,6} , Cd ⁴⁶ _{1,6} , Zn ³⁷ _{1,6} , Ge ³³ _{1,5} , Sc ⁵⁰ _{1,5} , Pb ⁴¹ _{1,5} , Be ⁴¹ _{1,5} , Ba ⁵⁷ _{1,5} , W ⁴⁴ _{1,5} , Ga ³⁵ _{1,5} , Co ⁴⁰ _{1,5}
Урановая терригенная зон пластового окисления рудная формация		
Буденовская ГХЗ (VII)		
24. Буденовский ГХУ (719)	Почвы (8)	Mo ⁶⁹ _{5,9} , Th ⁷⁶ _{5,4} , Bi ⁷⁷ _{4,5} , Sr ¹⁹ _{3,7} , U ²³ _{3,5} , Re ⁷⁸ _{2,7} , Rh ⁴² _{2,7} , Ti ⁴⁵ _{2,6} , Fe ²⁵ _{2,5} , Cr ⁵⁷ _{2,2} , Ni ⁵² _{2,2} , Pd ⁴⁵ _{2,1} , Sc ²⁹ ₂ , W ⁶⁶ _{1,9} , Cs ³¹ _{1,9} , Cd ³⁷ _{1,9} , Te ²⁹ _{1,8} , Zr ⁵³ _{1,8} , Ba ⁴⁵ _{1,7} , As ²⁸ _{1,6} , Ge ²⁰ _{1,5} , Se ³⁴ _{1,5} , Mn ¹⁸ _{1,5} , Zn ²⁶ _{1,5} , Nb ⁵⁰ _{1,5}
	Донные отложения (6)	Cr ⁸⁹ _{3,6} , Re ⁷³ _{3,3} , Mo ⁶⁸ _{3,1} , Au ⁵⁰ _{1,9} , Ti ¹⁹ _{1,8} , Cs ⁶¹ _{1,8} , Zn ³⁵ _{1,8} , W ⁹⁸ _{1,8} , Fe ⁴³ _{1,8} , Ni ⁶⁴ _{1,8} , Sn ⁵² _{1,7} , Sb ⁴⁶ _{1,7} , Cd ³⁵ _{1,6} , U ⁵⁰ _{1,6} , Rh ²² _{1,6} , Cu ⁴⁵ _{1,6} , Se ³¹ _{1,5} , Sr ²⁰ _{1,5} , P ⁴⁶ _{1,5}
25. Восточно-Буденовский ГХУ (607)	Почвы (7)	Th ⁸² _{6,2} , Mo ⁸⁸ _{5,7} , Re ¹⁸¹ ₅ , Bi ⁵⁴ _{3,7} , U ⁴⁷ _{3,7} , Rh ⁵⁰ ₃ , Se ¹⁵⁴ ₃ , Sr ⁴⁷ _{2,5} , Nb ¹⁰⁰ _{2,4} , Ti ⁴⁴ ₂ , Fe ⁵⁸ _{1,7} , Zr ³³ _{1,7} , As ²⁸ _{1,6} , Te ⁵¹ _{1,6} , Sb ⁵⁶ _{1,6} , Cd ⁵² _{1,5} , Pd ³¹ _{1,5}
	Донные отложения (3)	Cr ³⁹ _{1,8} , Cs ²⁹ _{1,8} , Au ³¹ _{1,7} , Zn ⁶⁵ _{1,5}
26. Георгиевский ГХР (1233)	Почвы (19)	Mo ⁹⁷ ₇ , Th ¹⁸⁴ ₆ , U ⁸⁷ _{3,4} , Bi ⁶³ _{2,7} , Sr ⁵⁰ _{2,2} , Rh ⁵² _{2,1} , Te ⁶⁶ ₂ , As ⁶⁶ _{1,9} , Se ⁵⁶ _{1,8} , Cd ⁴³ _{1,8} , Sb ⁵¹ _{1,8} , Re ⁸¹ _{1,8} , Fe ⁵⁴ _{1,7} , Ti ⁵⁴ _{1,7} , Zn ³⁸ _{1,5} , Zr ⁶⁸ _{1,5} , W ⁹² _{1,5}
	Донные отложения (14)	Cs ¹²⁰ _{5,8} , Mo ¹⁰² ₃ , U ¹⁶¹ _{2,5} , Zn ⁸⁸ ₂ , Au ⁴⁹ ₂ , Ti ²⁴ _{1,9} , Re ⁷⁵ _{1,8} , Cu ¹³⁸ _{1,8} , Bi ⁹¹ _{1,8} , Sb ⁴⁰ _{1,6}

в том числе и редкоземельных элементов. Однако они характеризуются низкими значениями Кс и V, что при локальности АГХП не позволяет прогнозировать существенный прирост ресурсного потенциала урана Цубукского месторождения (14).

Черкесская ГХЗ (V) приурочена к Южно-Ставропольскому поднятию в области затухания Центрально-Кавказской складчато-разрывной зоны. Здесь известно малое Черкесское месторождение уран-фосфорно-редкоземельной рудной формации в «рыбных» остатках караджалгинской свиты. Продуктивный горизонт, сложенный глинами, обогащенными сульфидами железа и ураноносным костным детритом, залегает на глубинах от 11 до 200 м. Среднее содержание урана в руде составляет 0,008 %, а в рыбном концентрате — 0,7 %. В рудах отмечаются повышенные содержания Mo, Pb, Zn, Ni, S, P₂O₅, Sc и TR [3].

Черкесскую АГХП (20) в почвах характеризуют достаточно высокие для положительного прогноза накопление и вариации содержаний урана и его спутников, но локальность АГХП не позволяет положительно оценивать перспективы расширения ресурсного потенциала урана известного Черкесского месторождения. Интерес здесь может представлять возможное продолжение АГХП в западном направлении за пределами изученной территории.

Большаяянкульская АГХП (19) достаточно надежно геохимически изучена (таблица). В ее почвах уран и часть его спутников характеризуются высоким накоплением и резко выраженной неоднородностью распределения содержаний. Это, наряду с благоприятной геологической позицией и значительной площадью (2913 км²), позволяет считать Большаяянкульскую АГХП перспективной на обнаружение промышленных месторождений урана, связанных с костным детритом.

К осадочному органогенному типу также отнесена урановая лагунно-аллювиальная рудная формация, прогнозируемая в АГХП Каспийской ГХЗ (IX), локализованной в прибрежной зоне на лагунно-аллювиальных отложениях. Но с учетом невысоких геохимических характеристик аномальных полей урана и малой мощности (первые метры) потенциально ураноносных отложений перспективность АГХП Каспийской ГХЗ оценена как низкая.

На гидротермально-метасоматическую урановую граносиенит-порфировую рудную формацию специализирована Пятигорская ГХЗ (VI). Формация связана с интрузивными образованиями кавминводского магматического комплекса [3].

Геохимическая зона расположена в пределах Минераловодского складчато-глыбового сооружения

Большого Кавказа. Территория зоны достаточно «открыта» и позволяет оценить ресурсный потенциал локализованных АГХП по геохимическим данным прямым расчетом.

Пятигорская АГХП (22) отвечает Кавминводскому урановому рудному узлу со средними по запасам Бештаугорским и Быкогорским месторождениями урана. Оруденение развито в гранит-порфирах и дацитах лакколита плиоценового возраста. Рудные тела в виде линз, жил и столбов залегают в зонах дробления. Содержание урана в рудных телах — до 1 %. С урановыми минералами ассоциируют пирит, галенит, флюорит, окислы железа и марганца. Во внешней зоне уранового оруденения установлена минерализация свинца, цинка, ртути [2].

Территория АГХП достаточно хорошо изучена в почвах (таблица). Особенностью ранжированного ряда является головное положение в нем U, Mo, Au, Cu, Re, отражающих не только минерагеническую специализацию на уран, но и позволяющих прогнозировать медно-порфировое с золотом и рением оруденение. Присутствие в ранжированном ряду в более низких концентрациях свинца и цинка может быть связано с полиметаллической минерализацией, которая характерна для внешних зон уранового оруденения гидротермально-метасоматического типа.

Ресурсный потенциал урана по геохимическим данным оценивается средней категорией, что при наличии двух средних урановых месторождений не предполагает существенного прироста запасов урана в Пятигорской АГХП.

Ресурсный потенциал других полезных ископаемых также оценивается средней категорией: Cu — 399 890 т, Mo — 12 900 т, Pb — 115 172 т, Zn — 227 440 т, золото — 2,3 т.

Северо-Минводская АГХП (21) по геологической позиции является аналогом Пятигорской АГХП, и ее перспективность по геохимическим данным также оценивается положительно (рисунок).

Аномальное геохимическое поле достаточно хорошо изучено в почвах, где его характеризует ассоциация элементов, аналогичная таковой Пятигорской АГХП (таблица). Ранжированный ряд возглавляют те же элементы. Донные отложения характеризуются, как правило, более высокими концентрациями урана и его спутников, низким уровнем накопления и однородностью распределения содержаний редкоземельных элементов.

Состав ранжированных рядов Северо-Минводской АГХП в почвах и донных отложениях позволяет прогнозировать в ней не только месторождения урановой граносиенит-порфировой рудной формации, но и медно-молибденовой с золотом порфировой гранитной. По геохимическим данным ресурсный потенциал U и Se оценивается как высокий, тогда как Mo (13 900 т), Cu (211 155 т) и Au (7 т) — как средний.

Урановое гидрогенное оруденение на изученной территории прогнозируется двух типов: палеодолинный и зон пластового окисления.

На оруденение урановой терригенной сероцветной палеодолинной рудной формации специализи-

рованы геохимические зоны: Октябрьская (I), Яшалтинская (IV) и Ачинеро-Нефтекумская (VIII).

Урановое оруденение этого типа представлено одним Балковским проявлением (в Октябрьской ГХЗ) и рядом пунктов минерализации в средней части яшукульской серии миоцена (на остальной части территории). На рудопроявление выделены пять рудных залежей лентовидной формы на глубинах 128–140 м длиной от 500 до 1500 м и шириной 50–250 м. Содержание урана составляет 0,005–0,023 %, иногда 0,09–0,15 %. Содержание подвижной формы урана — 70–93 % от валовых концентраций. Прогнозные ресурсы по категории P_3 оцениваются в 700 т урана и 150 т селена [2].

Геохимическую ассоциацию Балковской АГХП характеризует низкая интенсивность накопления урана и большинства его спутников. Однако АГХП локально и геохимически изучена слабо. Поэтому в качестве эталонных для оценки перспективности объектов гидрогенного типа использовались характеристики аномального поля Долматовского и Хохловского районов, специализированных на палеодолинный тип уранового оруденения [10; 11]. Их геохимическая ассоциация в донных отложениях высококомплексная — $U_{3,6}^{117}$, $Th_{3,0}^{115}$, $Hf_{2,4}^{75}$, $Zr_{2,4}^{73}$, $Pb_{2,4}^{155}$, $(Be^{72}, Sr^{69})_{2,3}$, $Co_{2,1}^{108}$, $(Bi^{82}, Ag^{83})_{2,0}$, $(Cu^{51}, Sc^{77})_{1,9}$, $V_{1,8}^{75}$, $Ba_{1,7}^{96}$, $TR_{1,9-1,5}^{54-58}$. Комплексность почвенной ассоциации меньше: $U_{4,5}^{167}$, $Zn_{4,0}^{208}$, $Mo_{2,2}^{183}$, $Sr_{2,2}^{97}$, $Th_{1,9}^{90}$, $Hf_{1,9}^{78}$, $Cs_{1,7}^{96}$, $Zr_{1,6}^{78}$. Для обеих ассоциаций характерны широкий диапазон накопления элементов-индикаторов и высокая ($V > 75$ %) неоднородность распределения их содержаний.

Октябрьская ГХЗ (I) приурочена к протяженной палеодолине субмеридионального простирания. Единственный известный рудный объект палеодолинного типа — Балковское проявление урана, описанное выше, расположено в Балковской АГХП (5).

По сравнению с геохимическими ассоциациями эталонных объектов, АГХП Октябрьской ГХЗ характеризуются слабым накоплением урана и большинства его спутников, что при малых размерах предопределяет их низкую перспективность.

Некоторым исключением является *Шебалинская АГХП* (3), приуроченная к палеодолине в пределах развития отложений караган-конского комплекса. Ее почвы характеризуются высоким накоплением и вариацией содержаний только $Mo_{7,9}^{131}$ и $Th_{3,5}^{88}$, а также умеренными значениями этих показателей — U, Bi, Zr. Несмотря на умеренные геохимические характеристики АГХП и ее локальность, благоприятная геологическая позиция и слабая геохимическая изученность (6 проб) не позволяют полностью исключить возможность обнаружения в АГХП промышленного уранового оруденения палеодолинного типа. Таким образом, перспективы Шебалинской АГХП неясны.

Яшалтинская ГХЗ (IV) расположена на северном склоне Ставропольского поднятия. На ее территории картируется Бурукшунский каньон, представленный на рисунке осевой частью палеорусл.

Благоприятной предпосылкой для положительного прогноза уранового палеодолинного оруденения в Подлесной, Джалгинской и Кугультинской

АГХП является приуроченность их северных флангов к Бурукшунскому палеоканьону.

К перспективным отнесена *Кугультинская АГХП* (19). Перечень элементов-индикаторов в ее геохимических ассоциациях относительно небольшой, но их, как правило, характеризуют умеренное накопление и высокая неоднородность распределения содержания (таблица).

Перспективы *Подлесной* (16) и *Джалгинской* (17) АГХП неясны, поскольку высокая степень дифференциации содержаний ряда элементов-индикаторов уранового оруденения даже при умеренном и низком накоплении не позволяет полностью исключить возможность обнаружения промышленного оруденения.

Ачинеро-Нефтекумская ГХЗ (VIII) расположена на продолжении долины р. Маныч, которая на территории геохимической зоны распадается на ряд рукавов, перекрытых современными отложениями, к которым и приурочены выделенные АГХП.

Светловская (28) и *Кызылкольская* (31) АГХП с наиболее высокими геохимическими характеристиками отнесены к перспективным на выявление промышленных месторождений урана палеодолинного типа (таблица). Перспективность *Нефтекумской* (29) и *Кумской* (30) АГХП оценивается как неясная из-за более низких геохимических характеристик.

Оруденение урановой терригенной сероцветной зон пластового окисления рудной формации прогнозируется в Буденовской ГХЗ (VII), на территории которой картируется выклинивание протяженных зон пластового окисления в отложениях сарматского и апшерон-акчагыльского формационных комплексов.

По геохимическим данным перспективными на урановое оруденение являются *Георгиевская* (26), *Буденовская* (24) и *Восточно-Буденовская* (25) АГХП. При этом Георгиевская АГХП характеризуется максимальным для геохимической зоны накоплением урана и его спутников (таблица).

Перспективность *Саблинской* (23) и *Терско-Кумской* (27) АГХП низкая, так как они характеризуются не только низкими накоплением и дифференциацией содержаний урана и его спутников в почвах, но и расположены в зонах окисления, откуда уран выносятся.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Региональные геохимические работы позволили выявить аномальные геохимические площади, специализированные на урановое оруденение разных формационных типов; определить общие закономерности их распределения; оценить масштабы проявления процессов рудообразования и выделить перспективные на урановое оруденение объекты.

Прогнозируется обнаружение промышленно значимых месторождений урана двух известных на территории формационных типов: 1) в Пролетарской и Большеянкульской аномальных геохимических площадях, перспективных на уран-фосфорно-редкоземельную в костных остатках терригенную рудную

формацию; 2) в Северо-Минводской аномальной геохимической площади — на урановую гидротермально-метасоматическую рудную формацию.

Гидрогенное урановое оруденение палеодолинного типа прогнозируется в Кугультинской, Светловской и Кызылкольской аномальных геохимических площадях, а зон пластового окисления — в Буденовской, Восточно-Буденовской и Георгиевской аномальных геохимических площадях.

В отмеченных перспективных АГХП рекомендуется провести комплексные геолого-геохимические исследования масштаба 1 : 200 000 для выявления и оконтуривания потенциально рудоносных площадей ранга рудного узла, поля с оценкой их прогнозных ресурсов.

Перспективы органогенного уранового оруденения урановой лагунно-аллювиальной рудной формации в Каспийской геохимической зоне (IX) низкие. Однако их выявление может иметь научный и практический интерес для эколого-геохимических исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Основные направления освоения и развития МСБ урана России / Г. А. Машковцев [и др.] // Разведка и охрана недр. 2008. № 9. С. 93–100.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Скифская. Лист L-38 — Пятигорск. Объяснительная записка / В. А. Лаврищев [и др.]. СПб. : Картограф. ф-ка ВСЕГЕИ, 2011. 420 с.
3. Греков И. И., Пруцкий Н. И. Проблемы тектоники и металлогении Северного Кавказа // Геология и минерально-сырьевая база Северного Кавказа : материалы IX междунар. науч.-практ. геол. конф. Ессентуки, 2000. С. 208–226.
4. Проблемы выявления, интерпретации и оценки рудогенных геохимических аномалий в сложных ландшафтно-геологических условиях / А. А. Головин [и др.] // Разведка и охрана недр. 2013. № 8. С. 6–12.
5. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М. : Недра, 1983. 191 с.
6. Криночкина О. К., Лаврусевич А. А. Проявления техногенных и рудогенных аномальных геохимических полей и критерии их дифференциации // Разведка и охрана недр. 2017. № 1. С. 16–19.
7. Овчинников Л. Н., Рыфтин В. М., Головин А. А. Первичные геохимические ореолы колчеданных месторождений и их поисковое значение. М. : Недра, 1986. 251 с.
8. Геолого-геохимические модели аномальных полей — основа прогнозной оценки территорий МГХК / Л. А. Криночкин [и др.] // Разведка и охрана недр. 2002. № 8. С. 9–13.
9. Методические рекомендации к составлению легенд к полиэлементным геохимическим картам / Г. М. Беляев [и др.]. Л. : ВСЕГЕИ, 1985. 140 с.
10. Криночкин Л. А., Криночкина О. К., Блоков В. И. Новые перспективы уранового оруденения Зауралья по данным региональных геохимических исследований // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022. № 1. С. 8–16. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-8-16>.
11. Krinochkin L. A., Krinochkina O. K. Possibility for uranium mineralization of the Trans Urals according to regional geochemical data // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 459. 022041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/2/022041>.

REFERENCES

1. Main trends of the reclamation and the development of mineral resource basis of uranium of Russia / G. A. Mashkovtsev [et al.]. *Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2008; (9): 93–100. (In Russ.).
2. State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1 : 1,000,000 (third generation). Scythian Series. Sheet L-38 — Pyatigorsk. Explanatory note / V. A. Lavrishchev [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory; 2011. 420 p. (In Russ.).
3. Grekov I. I., Prutsky N. I. Problems of tectonics and metallogeny of the North Caucasus. *Geology and Mineral Resource Base of the North Caucasus*: Proc. of the IX Intern. Sci. Geol. Conf. Essentuki; 2000. P. 208–226. (In Russ.).
4. The problems of identification, interpretation and evaluation of ore-producing geochemical anomalies in the areas of adverse landscape-geochemical conditions / A. A. Golovin [et al.]. *Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2013; (8): 6–12. (In Russ.).
5. Instructions for geochemical methods of prospecting for ore deposits. Moscow: Nedra; 1983. 191 p. (In Russ.).
6. Krinochkina O. K., Lavrusevich A. A. Development of technogenic and natural abnormal geochemical fields

and its hallmarks. *Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2017; (1): 16–19. (In Russ.).

7. Ovchinnikov L. N., Ryftin V. M., Golovin A. A. Primary geochemical halos of pyrite deposits and their exploration value. Moscow: Nedra; 1986. 251 p. (In Russ.).

8. Geological and geochemical models of anomalous fields are the basis for predictive assessment of multi-purpose geochemical mapping territories / L. A. Krinochkin [et al.]. *Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2002; (8): 9–13. (In Russ.).

9. Methodical recommendations for compiling legends for polyelement geochemical maps / G. M. Belyaev [et al.]. Leningrad: VSEGEI; 1985. 140 p. (In Russ.).

10. Krinochkin L. A., Krinochkina O. K., Blokov V. I. New prospects of uranium mineralisation in the Trans-Urals based on regional geochemical survey data. *Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration*. 2022; (1): 8–16. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-1-8-16>. (In Russ.).

11. Krinochkin L. A., Krinochkina O. K. Possibility for uranium mineralization of the Trans Urals according to regional geochemical data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; 459: 022041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/459/2/022041>.

Лев Алексеевич Криночкин

Доктор геолого-минералогических наук, начальник Управления геохимического обеспечения Госгеолкарты

Институт минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-9338-3191>
Scopus Author ID 57209792735
SPIN-код РИНЦ 4148-3390
lkrinochkin@mail.ru

Lev A. Krinochkin

DSc (Geology and Mineralogy), Head,
Department of Geochemical Support of the State Geological Map

Institute of Mineralogy, Geochemistry
and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-9338-3191>
Scopus Author ID 57209792735
RSCI SPIN-code 4148-3390
lkrinochkin@mail.ru

Ольга Константиновна Криночкина

Кандидат геолого-минералогических наук,
доцент кафедры инженерных изысканий и геоэкологии

Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-4833-1944>
Scopus Author ID 57192381586
SPIN-код РИНЦ 1404-5254
vdovinaok@mail.ru

Olga K. Krinochkina

PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor,
Department of Engineering Surveys and Geoecology

Moscow State University of Civil Engineering
(National Research University), Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-4833-1944>
Scopus Author ID 57192381586
RSCI SPIN-code 1404-5254
vdovinaok@mail.ru

Виктор Алексеевич Килипко

Кандидат геолого-минералогических наук,
первый заместитель Генерального директора

Институт минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия

Scopus Author ID 56358669500
kilipko@rambler.ru

Viktor A. Kilipko

PhD (Geology and Mineralogy),
First Deputy Director General

Institute of Mineralogy, Geochemistry
and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia

Scopus Author ID 56358669500
kilipko@rambler.ru

Вячеслав Игоревич Блоков

Заместитель начальника Управления
геохимического обеспечения Госгеолкарты

Институт минералогии, геохимии
и кристаллохимии редких элементов, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-5623-9350>
SPIN-код РИНЦ 2297-4921
blok_off@mail.ru

Vyacheslav I. Blokov

Deputy Head,
Department of Geochemical Support of the State Geological Map

Institute of Mineralogy, Geochemistry
and Crystal Chemistry of Rare Elements, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-5623-9350>
RSCI SPIN-code 2297-4921
blok_off@mail.ru

Вклад авторов: *Крinoчкин Л. А.* — научное руководство, концепция исследования, создание модели исследования, развитие методологии, написание исходного текста, итоговые выводы.

Крinoчкина О. К. — анализ и обобщение данных литературы, сбор данных литературы, написание исходного текста, итоговые выводы.

Килипко В. А. — научное руководство, организация работ по проекту, итоговые выводы.

Блоков В. И. — сбор и интерпретация первичных материалов, подготовка дополнительных материалов, работа с графическим материалом, редактирование и оформление текста, итоговые выводы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *Krinochkin L. A.* — scientific guidance, research concept, creating a research model, development of methodology, writing the original text, and final conclusions.

Krinochkina O. K. — analysis and synthesis of literature data, collecting literature data, writing the original text, final conclusions.

Kilipko V. A. — scientific guidance, organization of project work, final conclusions.

Blokov V. I. — collection and interpretation of primary materials, preparation of supplementary data, work with graphics, text editing and text design, final conclusions.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 20.05.2025
Одобрена после рецензирования 02.06.2025
Принята к публикации 20.06.2025

Submitted 20.05.2025
Approved after reviewing 02.06.2025
Accepted for publication 20.06.2025